

INBREEDING DEPRESSION PADA PROGENI HASIL PENYERBUKAN SENDIRI DAN OUTBREEDING DEPRESSION PADA HASIL PENYERBUKAN SILANG JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* L.)

Inbreeding Depression in Selfed and Outbreeding Depression in Crossed Progeny Arrays of Physic Nut (Jatropha curcas L.)

Rr. SRI HARTATI¹⁾ dan SUDARSONO²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Bogor
Jalan Tentara Pelajar No.1 Bogor, 16111

²⁾ Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB
Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680

e-mail: tatikdjoe@yahoo.com

(Diterima: 4-4-2014; Direvisi: 2-5-2014; Disetujui 14-5-2014)

ABSTRAK

Untuk mengetahui pengaruh *inbreeding* (*ID*) dan *outbreeding depression* (*OD*) pada tanaman jarak pagar dilakukan evaluasi populasi S1 hasil penyerbukan sendiri dan F1 hasil penyerbukan silang genotipe terpilih. Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar mulai Juni 2009-Juli 2010. Evaluasi menggunakan 100 populasi S1 dan F1 yang berasal dari persilangan diallel lengkap antar 10 tetua yang terdiri atas 1 tetua berdaya hasil rendah, 6 tetua berdaya hasil sedang, dan 3 tetua berdaya hasil tinggi. Hasil penelitian menunjukkan penyerbukan sendiri pada tanaman jarak pagar tidak selalu mengakibatkan *ID*. *ID* ditemukan pada sebagian karakter progeni hasil penyerbukan sendiri tetua 1 (575-3), 2 (HS 49-2), 4 (PT 13-1), 5 (SP 16-2), 6 (PT 33-2), 7 (3012-1), 8 (PT 15-1), 9 (PT 14-1), dan 10 (Sulsel 8), sedangkan *OD* ditemukan pada progeni hasil penyerbukan silang tetua 3 (IP 1A-2) dengan tetua lainnya. Penyerbukan sendiri tetua 2 (HS 49-2), 6 (PT 33-2), 8 (PT 15-1), dan 9 (PT 14-1) mengakibatkan *ID* pada karakter umur berbunga dan *OD* pada karakter jumlah buah per tanaman dan menghasilkan progeni yang lebih cepat berbunga dan berbuah lebih banyak dibanding penyerbukan silangnya. *OD* mengakibatkan penurunan hasil pada F1. Persilangan antar tetua dengan daya hasil berbeda menghasilkan progeni F1 dengan daya hasil lebih rendah dari tetua terbaiknya. Persilangan dengan tetua jantan berdaya hasil rendah menghasilkan progeni F1 yang berdaya hasil lebih rendah dari tetua betinanya. Penurunan daya hasil pada progeni F1 akibat persilangan dengan tetua jantan berdaya hasil rendah berkisar 31-76%.

Kata kunci: *Jatropha curcas* L., populasi S1, populasi F1, penurunan hasil

ABSTRACT

A sets of F1 and S1 arrays were generated to determine the presence of inbreeding (*ID*) and outbreeding (*OD*) effects of physic nut. Research was conducted at Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute Experimental Station during June 2009 to July 2010. Ten physic nut genotypes i.e. 1 parent with low yield, 6 parents with medium, and 3 parents with high yield potential were used to generate one hundred F1 and S1 progenies by full diallel scheme. Results indicated *ID* only occurred in a several number of genotypes. *ID* for a number of characters were observed among S1 progenies derived from parents number 1 (575-3), 2 (HS 49-2), 4 (PT 13-1), 5 (SP 16-2), 6 (PT 33-2), 7 (3012-1), 8 (PT 15-1), 9 (PT 14-1), and 10 (Sulsel 8), while *OD* were observed among F1

progenies derived from parent number 3 (IP 1A-2). Selfing of parents number 2 (HS 49-2), 6 (PT 33-2), 8 (PT 15-1), and 9 (PT 14-1) resulted *ID* for days to flowering and *OD* for number of fruit. Selfing of these parents resulted early flowering and high fruit yielding progenies. *OD* resulted yield reduction on several F1 progenies. Crossing among parents with different yield level resulted F1 progenies with lower yield than that of the best parent. Crossing to low yielding male parent resulted F1 progenies having lower yield than that of low yielding female parent. Yield reduction among F1 progenies ranged from 31 to 76%.

Key words: *Jatropha curcas* L., S1 population, F1 population, yield reduction

PENDAHULUAN

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan tanaman berumah satu (*monoecious*) dengan bunga jantan dan bunga betina berada pada satu tanaman yang sama. Pada genotipe tertentu muncul bunga hermaphrodit di samping bunga jantan (*trimonoecious*). Bunga jantan dan bunga betina berada pada satu infloresen yang sama dan terletak berdampingan (DEHGAN dan WEBSTER, 1979). Setiap bunga betina selalu dikelilingi oleh sekumpulan bunga jantan dengan perbandingan yang bervariasi 1 : 29 (RAJU dan EZRADANAM, 2002) sampai 1 : 50 (HARTATI, 2007), bergantung genotipe dan kondisi lingkungan. Adakalanya bunga betina mekar lebih dahulu dari bunga jantan (*protogini*) atau sebaliknya, bunga jantan mekar lebih dahulu dari bunga betina (*protandri*). Pada kondisi bunga jantan dan betina mekar pada saat yang tidak bersamaan, peluang terjadinya penyerbukan silang (*xenogamy*) cukup besar, tetapi pada kondisi bunga jantan dan bunga betina mekar bersamaan, peluang terjadinya penyerbukan sendiri (*geitonogamy*) cukup besar. Tipe penyerbukan ini sangat bergantung pada serangga penyerbuk. Serangga terbang membantu tanaman

melakukan penyerbukan silang, sedangkan semut membantu tanaman melakukan penyerbukan sendiri (HARTATI, 2007). Meskipun demikian, berdasarkan peluang terjadinya tipe penyerbukan, tanaman ini digolongkan ke dalam kelompok tanaman yang menyerbuk silang (DEHGAN dan WEBSTER, 1979).

Sebagai tanaman yang menyerbuk silang sekaligus menyerbuk sendiri, biji yang dihasilkan pada tanaman jarak pagar dapat berasal dari hasil penyerbukan silang maupun penyerbukan sendiri (XIU dan DING, 2012). Pada tanaman menyerbuk silang, terjadinya penyerbukan sendiri dapat mengakibatkan *inbreeding depression* (*ID*) atau penurunan nilai karakter karena dengan penyerbukan sendiri akan terjadi penggabungan gen-gen yang sama sehingga genotipe yang dihasilkan semakin homosigot. Bila gen-gen itu merupakan gen resesif yang mengendalikan sifat yang kurang baik maka dalam kondisi homosigot sifat tersebut akan muncul dan mendorong terjadinya *ID* (SINGH, 1990).

Sejumlah hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan nilai karakter sebagai akibat *ID* pada tanaman menyerbuk silang. Beberapa peneliti melaporkan pengaruh yang tidak nyata antara hasil penyerbukan sendiri dengan hasil penyerbukan silang, sementara peneliti lainnya melaporkan adanya *outbreeding depression* (*OD*). KEPHART dan HALL (1999) melaporkan produksi benih hasil penyerbukan sendiri pada tanaman *Silene douglasii* var. *oraria* hanya 40% dari produksi benih hasil penyerbukan silang. Sementara itu, SHERIDAN dan KAROWE (2000) melaporkan bahwa produksi benih hasil penyerbukan sendiri pada tanaman *Sarracenia flava* hanya 25% dari produksi benih hasil penyerbukan silang. LENE *et al.* (2007) melaporkan adanya pengaruh yang sangat buruk dari penyerbukan sendiri pada perkecambahan tanaman *Scalesia affinis* yang mengakibatkan persentase kematian kecambah hingga 84%. Sementara itu, MUSTAJARVI *et al.* (2005) melaporkan tidak ada perbedaan produksi buah pada tanaman *Lychnis viscaria*. Pada tanaman jarak pagar, belum banyak informasi yang berkaitan dengan penurunan nilai karakter, baik *ID* maupun *OD*, terutama karakter daya hasil yang diwujudkan dalam bentuk jumlah buah per tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi terjadinya *ID* dan *OD* yang dapat mengakibatkan penurunan hasil pada progeni tanaman jarak pagar. Informasi yang diperoleh diharapkan akan bermanfaat dalam program pengembangan tanaman jarak pagar dan dapat digunakan untuk menyusun strategi pengembangannya, terutama yang berkaitan dengan penyediaan bahan tanaman berdaya hasil tinggi.

BAHAN DAN METODE

Penurunan Nilai Karakter Populasi Hasil Penyerbukan Sendiri (*Inbreeding Depression*) dan Silang (*Outbreeding Depression*)

Untuk mengetahui ada tidaknya *ID* dan *OD* pada tanaman jarak pagar, dilakukan evaluasi terhadap populasi hasil penyerbukan sendiri (*S1*) dan hasil penyerbukan silang (*F1*) di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar mulai bulan Juni 2009 sampai dengan Juli 2010. Pembentukan populasi *S1* dan *F1* dilakukan melalui persilangan diallel lengkap dari 10 tetua yang terdiri atas 1 tetua berdaya hasil rendah, 6 tetua berdaya hasil sedang, dan 3 tetua berdaya hasil tinggi. Keragaan tetua yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Persilangan antar 10 tetua dilakukan secara manual sejak bulan Agustus 2008 untuk menghasilkan 100 kombinasi persilangan yang terdiri atas 10 populasi *S1* yang merupakan hasil persilangan sendiri dan 90 populasi *F1* yang merupakan hasil penyerbukan silang antar tetua. Dari setiap persilangan diambil 15 butir benih *S1* atau *F1* yang selanjutnya dibibitkan selama 2 bulan kemudian ditanam di lapangan dengan jarak tanam 2 m × 1 m. Penanaman dilakukan pada bulan Juni 2009. Rancangan lingkungan yang digunakan adalah Acak Kelompok diulang tiga kali. Setiap unit percobaan terdiri atas lima tanaman yang ditanam dalam satu baris. Jarak antar barisan 2 m dan jarak dalam baris 1 m. Pemeliharaan tanaman sesuai petunjuk budidaya jarak pagar (MAHMUD *et al.*, 2008).

Pengamatan dilakukan terhadap karakter vegetatif yang meliputi tinggi tanaman, lingkaran batang, lebar kanopi, jumlah cabang total dan cabang produktif, serta karakter generatif yang meliputi umur mulai berbunga serta jumlah infloresen, tandan, dan buah per tanaman. Pengamatan dilakukan selama satu tahun sejak tanaman mulai berbunga, yaitu mulai bulan Agustus 2009 sampai dengan Juli 2010. Data yang diperoleh diuji keragamannya dengan analisis ragam (Uji F) menggunakan program SAS. Analisis ragam dilakukan terhadap setiap populasi *S1* dan *F1* dari setiap tetua sehingga akan terdapat 10 kelompok populasi dari 10 tetua:

- Unit penelitian = populasi ke-*i* = (*S1 i* × *i* + *F1 i* × *j* + *F1 j* × *i*)
- *i* × *i* adalah penyerbukan sendiri dan *i* × *j* dan *j* × *i* adalah hasil persilangan beserta resiproknya (silang baliknya)
- *i/j* = tetua no 1 sampai 10

Penurunan nilai karakter dihitung berdasarkan rumus *ID* (CHARLESWORTH dan CHARLESWORTH, 1987):

$$\delta = 1 - \left(\frac{zs}{zo} \right)$$

δ = nilai *ID*

zs = nilai tanaman hasil penyerbukan sendiri

zo = nilai tanaman hasil penyerbukan silang

Penurunan Hasil Populasi Hasil Penyerbukan Silang (*F1*) Antar Tetua dengan Daya Hasil Berbeda

Untuk mengetahui penyebab terjadinya penurunan hasil pada populasi hasil persilangan antar tetua yang memiliki daya hasil berbeda, dilakukan analisis terhadap 90 populasi *F1* hasil persilangan antar 10 tetua terpilih yang

terdiri atas tetua berdaya hasil rendah (kurang dari 200 buah per tanaman), sedang (200-400 buah per tanaman), dan tinggi (lebih dari 400-600 buah per tanaman). Data daya hasil populasi F1 yang diperoleh diuji keragamannya dengan analisis ragam (Uji F) menggunakan program SAS. Penurunan daya hasil dihitung berdasarkan rumus:

$$PDH = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100\%$$

PDH = penurunan daya hasil (%) sebagai akibat persilangan dengan tetua berdaya hasil berbeda
 P1 = rata-rata hasil persilangan tetua berdaya hasil sama ($T \times T$; $S \times S$; $R \times R$)
 P2 = rata-rata hasil persilangan tetua berdaya hasil berbeda ($T \times S$; $S \times T$; $T \times R$; $R \times T$; $S \times R$; $R \times S$)

Tabel 1. Keragaan tetua terpilih jarak pagar

Table 1. Performance of selected physic nut parents

| Nomor Tetua <i>Parents Number</i> | Genotipe <i>Genotype</i> | Provenan <i>Provenan</i> | Umur berbunga <i>Days to flowering</i> | Jumlah buah/tanaman <i>Number of fruit/plant</i> |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| 1 | 575-3 | NTB | 145 | 45 R/L |
| 2 | HS 49-2 | NTT | 91 | 450 T/H |
| 3 | IP 1A-2 | NTB | 99 | 340 S/M |
| 4 | PT 13-2 | Lampung | 86 | 352 S/M |
| 5 | SP 16-2 | Sulawesi | 125 | 23 R/L |
| 6 | PT 33-2 | Lampung | 97 | 314 S/M |
| 7 | 3012-1 | NTB | 84 | 374 S/M |
| 8 | PT 15-1 | Lampung | 75 | 390 S/M |
| 9 | PT 14-1 | Lampung | 86 | 320 S/M |
| 10 | Sul-Sel 8 | Sulawesi | 85 | 290 S/M |

Keterangan : R = Rendah (< 200 buah/tanaman); S = Sedang (200-400 buah/tanaman), dan T = Tinggi (> 400-600 buah/tanaman)

Note : L = Low (< 200 fruits/plant); M = Medium (200-400 fruits/plant), and H = High (> 400-600 fruits/plant)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Nilai Karakter Populasi Hasil Penyerbukan Sendiri (*Inbreeding Depression*) dan Silang (*Outbreeding Depression*)

Kuadrat tengah perlakuan pada karakter yang dievaluasi dari setiap unit penelitian disajikan pada Tabel 2. Nilai *ID* dari beberapa karakter yang dievaluasi disajikan pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 8.

Terdapat perbedaan variasi karakter antar populasi tetua. Setiap populasi menunjukkan variasi karakter yang berbeda. Tinggi tanaman berbeda nyata pada populasi tetua 3, lingkaran batang berbeda nyata pada populasi tetua 2; lebar kanopi berbeda nyata pada populasi tetua 1 dan 7; jumlah cabang total berbeda nyata pada populasi tetua 1, 5, 6, dan 7; umur mulai berbunga berbeda nyata pada tetua 2, 3, 4, 7, 8, 9, dan 10; jumlah cabang produktif berbeda nyata pada tetua 1, 2, 3, 5, 6, 7, dan 8; jumlah infloresen berbeda nyata pada tetua 1, 7, dan 8; jumlah tandan berbeda nyata pada populasi tetua 1, 3, 5, 6, 7, dan 10; sedangkan jumlah buah per tanaman berbeda nyata pada semua populasi (Tabel 2).

Perbedaan variasi karakter antar populasi dapat disebabkan karena setiap tetua memiliki konstitusi genetik yang berbeda satu sama lain. Tanaman jarak pagar memiliki potensi untuk menyerbuk sendiri dan silang (XIU dan DING, 2012). Adanya peluang terjadinya penyerbukan sendiri sekaligus silang pada tanaman jarak pagar mengakibatkan konstitusi genetik setiap tetua menjadi sangat unik dan

berbeda satu sama lain, bergantung seberapa sering terjadinya penyerbukan sendiri maupun silang. Semakin sering tanaman menyerbuk sendiri, maka tanaman akan semakin homosisot, demikian juga sebaliknya.

Pada sejumlah karakter, variasi hanya ditemukan pada beberapa populasi. Beberapa karakter lainnya ditemukan bervariasi hampir pada semua populasi, bahkan pada karakter jumlah buah per tanaman, terdapat perbedaan yang signifikan pada semua populasi. Hal ini dapat disebabkan karena tetua yang digunakan memiliki kemiripan pada karakter tertentu, seperti tinggi tanaman, lingkaran batang, dan lebar kanopi sehingga pada karakter-karakter ini tidak terjadi perbedaan yang signifikan antar populasi, sedangkan pada karakter umur berbunga, jumlah infloresen, jumlah tandan, dan jumlah buah per tanaman terdapat variasi yang cukup tinggi (HARTATI *et al.*, 2009) sehingga populasi yang dihasilkan juga memiliki perbedaan karakter yang signifikan.

Penyerbukan sendiri pada tanaman jarak pagar tidak selalu mengakibatkan *ID*. Nilai δ menunjukkan besaran perubahan nilai karakter S1 dibanding F1. Nilai positif berarti penyerbukan sendiri mengakibatkan *ID* atau penurunan nilai sebesar nilai tersebut dibandingkan hasil penyerbukan silangnya dengan tetua tertentu, sedangkan nilai negatif berarti penyerbukan sendiri mengakibatkan peningkatan nilai suatu karakter dibanding penyerbukan silangnya (MUSTAJARVI *et al.*, 2005). *OD* berarti penyerbukan silang mengakibatkan penurunan nilai suatu karakter.

Hasil evaluasi menunjukkan adanya perbedaan nilai *ID* antar genotipe yang dievaluasi. Berdasarkan nilai rata-ran δ persilangan yang dievaluasi, setiap tetua yang digunakan mengalami *ID* pada karakter yang berbeda. Tetua 1 (575-3) mengalami *ID* pada karakter jumlah cabang total, jumlah infloresen, dan jumlah buah. Tetua 2 (HS 49-2) mengalami *ID* pada karakter tinggi tanaman, lingkaran batang, lebar kanopi, umur mulai berbunga, jumlah infloresen, dan jumlah tandan. Tetua 3 (IP 1A-2) hampir tidak mengalami *ID*, tetapi secara umum mengalami *OD* pada semua karakter yang dievaluasi. Tetua 4 (PT 13-2) mengalami *ID* pada karakter lingkaran batang, jumlah cabang total, jumlah infloresen, jumlah tandan, dan jumlah buah. Tetua 5 (SP

16-2) mengalami *ID* pada karakter lingkaran batang serta jumlah cabang total dan infloresen. Tetua 6 (PT 33-2) mengalami *ID* pada karakter lingkaran batang, jumlah cabang total, dan umur mulai berbunga. Tetua 7 (3012-1) mengalami *ID* pada karakter lingkaran batang. Tetua 8 (PT 15-1) mengalami *ID* pada karakter lingkaran batang, lebar kanopi, dan umur mulai berbunga. Tetua 9 (PT 14-1) mengalami *ID* pada karakter umur mulai berbunga serta jumlah cabang total, infloresen, dan tandan. Tetua 10 (Sulsel 8) mengalami *ID* pada karakter tinggi tanaman, lingkaran batang, lebar kanopi, serta jumlah cabang total, infloresen, tandan, dan buah.

Tabel 2. Kuadrat tengah perlakuan pada populasi S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke-i dan F1 hasil penyerbukan silang dan silang balik antar tetua ij

Table 2. Mean square of S1 arrays of selfed i^{th} parent and F1 of crossed and reciprocal crossed between i^{th} and j^{th} parents

| Populasi S1 dan F1 tetua ke-i S1 and F1 population of i^{th} parent | Tinggi tanaman Plant height | Lingkaran batang Stem girth | Lebar kanopi Canopy width | Jumlah cabang total Number of total branches | Umur mulai berbunga Days to flowering | Jumlah cabang produktif No of productive Branches | Jumlah infloresen Number of inflorescences | Jumlah tandan Number of bunches | Jumlah buah Number of fruits |
|--|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|---|--|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 (575-3) | 1037,84 tn | 16,31 tn | 1884,21** | 41,14** | 1787,24 tn | 19,70** | 292,49** | 189,32** | 4426,18 ** |
| 2 (HS 49-2) | 872,19 tn | 22,74** | 1048,51 tn | 8,06 tn | 2415,35 ** | 12,53** | 298,49 tn | 270,44 tn | 11604,94 ** |
| 3 (IP 1A-2) | 1353,44** | 13,43 tn | 1610,62 tn | 18,87 tn | 2285,75 * | 18,84* | 832,80 tn | 449,75** | 15053,15 ** |
| 4 (PT 13-2) | 843,50 tn | 22,87 tn | 2098,24 tn | 8,67 tn | 2662,84 ** | 9,21tn | 341,44 tn | 282,17 tn | 12135,30 ** |
| 5 (SP 16-2) | 508,59 tn | 14,19 tn | 1181,95 tn | 19,79** | 1760,73 tn | 23,36** | 811,58 tn | 283,99** | 21092,24 ** |
| 6 (PT 33-2) | 862,24 tn | 10,62 tn | 6075,55 tn | 28,51** | 1962,50 tn | 17,54* | 505,67 tn | 733,07** | 18793,54 ** |
| 7 (3012-1) | 749,46 tn | 20,84 tn | 1493,36** | 18,40** | 2850,22 ** | 27,47** | 577,92** | 656,77** | 14687,50 ** |
| 8 (PT 15-1) | 773,83 tn | 10,20 tn | 4827,83 tn | 18,43 tn | 3031,50 * | 21,23* | 572,07** | 348,64 tn | 12166,48 ** |
| 9 (PT 14-1) | 494,26 tn | 9,06 tn | 970,82 tn | 11,41 tn | 1888,43 * | 8,46tn | 266,82 tn | 280,67 tn | 10235,33 ** |
| 10 (Sulsel 8) | 511,59 tn | 15,45 tn | 1475,53 tn | 13,24 tn | 3310,63 * | 8,11tn | 527,59 tn | 499,56** | 15742,64 ** |

Tabel 3. Perubahan (δ) tinggi tanaman pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke-i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke-i dengan tetua ke-j

Table 3. Changing (δ) on plant height of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | -0,05 | -0,06 | 0,04 | -0,17 | -0,30 | -0,06 | -0,10 | -0,28 | -0,11 |
| 2 | 0,26 | | 0,21 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 0,22 | 0,08 | 0,21 | 0,01 |
| 3 | -0,06 | -0,32 | | -0,25 | -0,14 | -0,21 | -0,01 | -0,34 | -0,20 | -0,17 |
| 4 | -0,19 | -0,08 | 0,05 | | 0,03 | -0,09 | -0,12 | -0,11 | -0,17 | -0,01 |
| 5 | -0,10 | -0,01 | 0,08 | 0,10 | | -0,12 | 0,08 | -0,02 | -0,04 | -0,17 |
| 6 | 0,00 | 0,01 | 0,13 | -0,17 | -0,06 | | 0,07 | 0,06 | -0,03 | -0,04 |
| 7 | 0,05 | -0,05 | 0,05 | -0,02 | -0,19 | -0,14 | | -0,07 | -0,23 | -0,16 |
| 8 | 0,13 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,10 | 0,12 | | 0,07 | -0,02 |
| 9 | -0,01 | -0,08 | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | -0,02 | 0,00 | | -0,04 |
| 10 | 0,02 | -0,03 | 0,06 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,00 | 0,10 | 0,07 | |

Keterangan: $\delta = 1 - z_s/z_o$ (z_s = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; z_o = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)

Note: $\delta = 1 - z_s/z_o$ (z_s = character value of selfed progeny; z_o = character value of crossed progeny)

Tabel 4. Perubahan nilai karakter (δ) jumlah cabang total pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke-i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke-i dengan tetua ke-jTable 4. Changing (δ) on total number of branches of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | 0,30 | 0,36 | 0,26 | -0,02 | 0,34 | -0,02 | 0,14 | -0,08 | 0,33 |
| 2 | -0,36 | | -0,16 | -0,09 | 0,03 | 0,01 | -0,11 | -0,21 | -0,33 | -0,01 |
| 3 | -0,36 | -0,07 | | -0,28 | -0,04 | -0,33 | 0,14 | -0,37 | -0,49 | -0,33 |
| 4 | 0,16 | 0,34 | 0,36 | | 0,19 | 0,18 | 0,28 | 0,24 | 0,04 | 0,24 |
| 5 | 0,41 | 0,19 | 0,29 | 0,20 | | -0,29 | 0,09 | 0,02 | 0,22 | 0,08 |
| 6 | 0,38 | -0,03 | 0,15 | -0,20 | 0,12 | | 0,02 | -0,08 | -0,03 | -0,26 |
| 7 | -0,13 | 0,00 | 0,10 | -0,11 | -0,26 | -0,30 | | -0,08 | 0,06 | -0,39 |
| 8 | -0,16 | 0,12 | 0,26 | 0,02 | 0,10 | -0,02 | 0,09 | | -0,05 | -0,41 |
| 9 | 0,09 | 0,10 | 0,20 | -0,02 | -0,04 | 0,10 | 0,20 | 0,07 | | 0,06 |
| 10 | 0,08 | 0,41 | 0,38 | 0,43 | 0,37 | 0,42 | -0,03 | 0,31 | 0,14 | |

Keterangan: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; zo = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)Note: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = character value of selfed progeny; zo = character value of crossed progeny)Tabel 5. Perubahan nilai karakter (δ) umur berbunga pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke-i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke-i dengan tetua ke-jTable 5. Changing (δ) on days to flowering of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | -0,13 | -0,04 | -0,11 | -0,16 | -0,23 | -0,20 | -0,06 | -0,18 | -0,06 |
| 2 | 0,34 | | 0,17 | 0,25 | 0,22 | 0,04 | 0,25 | 0,13 | 0,31 | 0,25 |
| 3 | 0,14 | -0,56 | | -0,26 | 0,03 | -0,32 | -0,38 | -0,24 | -0,03 | 0,02 |
| 4 | 0,19 | -0,67 | -0,33 | | 0,03 | -0,34 | -0,29 | -0,16 | -0,10 | -0,25 |
| 5 | -0,34 | -0,36 | -0,68 | -0,11 | | -0,09 | 0,04 | -0,05 | -0,19 | 0,05 |
| 6 | 0,35 | -0,16 | 0,15 | -0,17 | 0,20 | | 0,15 | 0,16 | 0,09 | 0,30 |
| 7 | 0,16 | -0,27 | -0,07 | -0,22 | 0,09 | -0,17 | | -0,34 | -0,47 | -0,03 |
| 8 | 0,37 | 0,03 | 0,23 | 0,15 | 0,26 | -0,09 | 0,01 | | -0,02 | 0,26 |
| 9 | 0,15 | 0,04 | -0,15 | -0,16 | 0,19 | -0,10 | 0,04 | 0,07 | | 0,02 |
| 10 | -0,02 | -1,01 | -0,60 | -0,69 | -0,26 | -0,61 | -0,13 | -0,31 | -0,50 | |

Keterangan: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; zo = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)Note: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = character value of selfed progeny; zo = character value of crossed progeny)

Tabel 6. Perubahan nilai karakter (δ) jumlah cabang produktif pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke i dengan tetua ke j

Table 6. Changing (δ) on number of productive branches of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j / j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | -0,10 | 0,01 | -0,09 | -1,85 | -0,45 | -0,78 | -0,27 | -1,00 | 0,06 |
| 2 | -1,70 | | -0,46 | -0,67 | -0,32 | -0,05 | -0,61 | -0,08 | -0,80 | -0,60 |
| 3 | -2,38 | -0,66 | | -2,13 | -1,05 | -1,15 | -0,45 | -0,73 | -2,01 | -1,57 |
| 4 | -0,61 | -0,04 | -0,40 | | -0,78 | -0,21 | -0,67 | -0,06 | -0,79 | -0,02 |
| 5 | 0,18 | -0,72 | -0,25 | -0,93 | | -1,93 | -0,91 | -1,20 | -0,57 | -0,81 |
| 6 | 0,17 | -0,08 | 0,16 | -0,83 | 0,32 | | -0,21 | 0,05 | -0,08 | -0,23 |
| 7 | -1,06 | -0,55 | -0,53 | -0,78 | -0,98 | -1,33 | | -0,60 | -0,79 | -1,51 |
| 8 | -1,87 | -0,48 | -0,31 | -0,82 | -0,77 | -0,60 | -0,46 | | -0,69 | -1,45 |
| 9 | -0,07 | -0,52 | -0,10 | -0,20 | -0,58 | -0,12 | -0,34 | -0,55 | | -0,73 |
| 10 | -0,29 | 0,19 | 0,07 | 0,37 | 0,13 | 0,32 | -0,67 | 0,04 | -0,09 | |

Keterangan: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; zo = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)

Note: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = character value of selfed progeny; zo = character value of crossed progeny)

Tabel 7. Perubahan nilai karakter (δ) jumlah infloresen pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke-i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke-i dengan tetua ke-j

Table 7. Changing (δ) on number of inflorescences of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j / j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | 0,48 | 0,36 | 0,55 | -0,15 | 0,37 | 0,13 | 0,34 | 0,22 | 0,45 |
| 2 | -0,27 | | 0,20 | 0,08 | 0,25 | 0,29 | 0,11 | 0,12 | 0,02 | 0,00 |
| 3 | -1,68 | -0,30 | | -0,44 | -0,35 | -0,43 | 0,02 | -0,65 | -0,66 | -0,90 |
| 4 | -0,49 | 0,41 | 0,52 | | 0,20 | 0,37 | 0,30 | 0,35 | 0,25 | 0,34 |
| 5 | 0,20 | 0,45 | 0,65 | 0,19 | | -0,31 | 0,20 | -0,04 | 0,20 | -0,07 |
| 6 | -0,39 | 0,00 | 0,10 | -0,37 | -0,07 | | -0,02 | 0,03 | -0,08 | -0,30 |
| 7 | -0,28 | 0,06 | 0,15 | 0,03 | -0,42 | -0,43 | | 0,15 | -0,19 | -0,37 |
| 8 | -0,69 | 0,09 | 0,20 | -0,13 | -0,14 | 0,01 | 0,08 | | 0,07 | -0,49 |
| 9 | -0,02 | -0,04 | 0,24 | -0,07 | -0,13 | 0,18 | 0,17 | -0,01 | | -0,09 |
| 10 | 0,14 | 0,55 | 0,55 | 0,58 | 0,57 | 0,63 | 0,13 | 0,51 | 0,38 | |

Keterangan: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; zo = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)

Note: $\delta = 1 - zs/zo$ (zs = character value of selfed progeny; zo = character value of crossed progeny)

Tabel 8. Perubahan nilai karakter (δ) jumlah buah pada S1 hasil penyerbukan sendiri tetua ke- i dibanding F1 hasil penyerbukan silang tetua ke-i dengan tetua ke-jTable 8. Changing (δ) on number of fruits of S1 progenies of selfed i^{th} parent compared to F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parent

| Tetua ke-i i^{th} parent | Tetua ke-j j^{th} parent | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | 0,42 | 0,34 | 0,47 | 0,22 | -0,83 | 0,38 | 0,46 | 0,20 | 0,37 |
| 2 | -0,97 | | 0,06 | -0,17 | 0,18 | 0,05 | 0,01 | 0,14 | 0,03 | -0,19 |
| 3 | -2,17 | 0,11 | | -0,23 | 0,10 | -0,69 | 0,22 | -0,20 | -0,14 | -0,34 |
| 4 | -1,82 | 0,47 | 0,35 | | 0,42 | 0,34 | 0,39 | 0,48 | 0,37 | 0,40 |
| 5 | -3,19 | 0,06 | -0,16 | -0,25 | | -0,57 | 0,16 | -0,04 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | -3,74 | 0,11 | 0,18 | -0,69 | 0,32 | | 0,26 | 0,18 | 0,11 | -0,19 |
| 7 | -0,84 | -0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | -0,15 | | 0,09 | -0,29 | -0,55 |
| 8 | -1,40 | 0,04 | 0,02 | -0,30 | -0,04 | -0,26 | 0,10 | | -0,01 | -0,37 |
| 9 | -0,77 | 0,03 | 0,13 | -0,60 | 0,07 | 0,04 | 0,12 | 0,01 | | -0,25 |
| 10 | -1,22 | 0,33 | 0,31 | 0,34 | 0,44 | 0,37 | -0,13 | 0,27 | 0,16 | |

Keterangan: $\delta = 1 - z_s/z_o$ (z_s = nilai karakter pada hasil penyerbukan sendiri; z_o = nilai karakter pada hasil penyerbukan silang)

Note: $\delta = 1 - z_s/z_o$ (z_s = character value of selfed progeny; z_o = character value of crossed progeny)

ID terjadi karena pada tanaman menyerbuk silang, penyerbukan sendiri akan mengakibatkan penggabungan gen-gen yang sama sehingga genotipe yang dihasilkan semakin homosigot. Bila gen-gen itu merupakan gen resesif maka dalam kondisi homosigot akan mengakibatkan terjadinya penurunan nilai karakter atau ID (CHARLESWORTH dan WILLIS, 2009). Pada penelitian ini, ID hanya terjadi pada karakter tertentu dan tetua tertentu. Diduga, hal ini terkait dengan konstitusi genetik masing-masing tetua yang berbeda satu sama lain. Karakter-karakter yang mengalami penurunan nilai hanya terjadi pada tetua yang konstitusi genetiknya diduga masih sangat heterosigot sehingga dengan penyerbukan sendiri, konstitusi genetiknya menjadi lebih homosigot. Pada karakter yang dikendalikan oleh gen dominan, berkumpulnya gen homosigot resesif sebagai akibat penyerbukan sendiri akan mengakibatkan terjadinya penurunan nilai karakter.

ID pada karakter jumlah buah per tanaman terjadi pada semua populasi. Hal ini diduga disebabkan karakter jumlah buah dikendalikan oleh banyak gen dominan. Di samping itu, untuk karakter jumlah buah per tanaman, semua tetua diduga berada pada kondisi sangat heterosigot. Penyerbukan sendiri mengakibatkan sebagian besar gen pengendali menjadi lebih homosigot. Bila yang berkumpul ada gen-gen homosigot resesif, maka hal ini mengakibatkan menurunnya nilai karakternya.

Karakter yang cukup penting pada tanaman jarak pagar adalah umur mulai berbunga dan karakter yang berkorelasi dengan komponen hasil, seperti jumlah buah per tanaman. Tanaman yang diharapkan adalah yang cepat berbunga dan berbuah banyak. Berdasarkan karakter umur mulai berbunga, penyerbukan sendiri (*selfing*) pada tetua 2,

6, 8, dan 9 mengakibatkan terjadinya ID, yaitu menghasilkan F1 yang lebih cepat berbunga. Hal ini menguntungkan karena tanaman menjadi lebih cepat berbunga.

Berdasarkan karakter jumlah buah, yang diharapkan adalah jumlah buah yang lebih banyak sehingga ID mengakibatkan F1 yang dihasilkan memiliki jumlah buah yang lebih sedikit. Tetua 1 (575-3) menunjukkan nilai δ rata-rata karakter jumlah buah yang paling tinggi diantara genotipe yang dievaluasi dengan nilai positif 0,23, sedangkan genotipe nomor 5 memiliki nilai δ rata-rata terendah dengan nilai - 0,44.

Penyerbukan sendiri pada tetua nomor 1 (575-3), 4 (PT 13-2), dan 10 (Sulsel-8) secara umum mengakibatkan ID dengan nilai δ rata-rata berturut-turut 0,20; 0,14; dan 0,09. Sementara itu, pada tetua 2 (HS 49-2), 3 (IP 1A-2), 5 (SP 16-2), 6 (PT 33-2), 7 (3012-1), 8 (PT 15-1), dan 9 (PT 14-1) terjadi OD dengan nilai berturut-turut -0,09; -0,33; -0,40; -0,35; -0,17; -0,22; dan -0,12. Berdasarkan karakter umur mulai berbunga dan jumlah buah per tanaman, maka penyerbukan sendiri pada tetua 2 (HS 49-2), 6 (PT 33-2), 8 (PT 15-1), dan 9 (PT 14-1) menghasilkan keturunan yang lebih cepat berbunga dan berbuah lebih banyak. OD memberi peluang untuk menghasilkan varietas jarak pagar dari hasil penyerbukan sendiri individu terpilih.

Adanya ID dan OD juga dilaporkan oleh sejumlah peneliti yang bekerja pada berbagai macam tanaman. GRINDELAND (2008) yang melakukan penelitian pada tanaman *Digitalis purpurea* melaporkan bahwa pada tanaman yang terdiri atas tanaman diploid dan tetraploid ini, ditemukan adanya ID dan OD pada fase pertumbuhan yang berbeda dan jarak tanam yang berbeda. ID semakin meningkat dengan bertambahnya umur tanaman, sementara

OD lebih konstan sepanjang fase hidup tanaman. Untuk mencegah terjadinya *ID* pada tanaman ini disarankan untuk tidak menanam jarak tanam terlalu dekat. CHANG (2007) yang melakukan penelitian pada tanaman Geranium, yang merupakan tanaman *gynodioecious*, memperlihatkan *ID* lebih tinggi pada tanaman yang dihasilkan dari bunga hermaprodit dibanding tanaman yang dihasilkan oleh bunga betina. Untuk menghindari terjadinya *ID* pada tanaman Geranium tersebut disarankan menggunakan bahan tanaman yang berasal dari bunga betina.

Penelitian lain pada tanaman ginseng Amerika yang dilakukan oleh MOONEY dan MGRW (2007) menunjukkan adanya *ID* pada karakter luas daun, tinggi tanaman, dan biomassa akar, sedangkan *OD* tidak ditemukan. GOODWILLIE dan KNIGHT (2006) juga menemukan adanya fluktuasi nilai *ID* selama fase pertumbuhan tanaman *Leptosiphon jepsonii*. Nilai *ID* terlihat semakin besar pada fase akhir pertumbuhan tanaman. Sementara itu, ANDERSON dan WALDMANN (2002) melaporkan *ID* pada *Scabiosa canescens* terjadi baik pada awal maupun pada akhir pertumbuhan tanaman dengan nilai 0,37 pada fase bibit dan 0,14 pada fase berbunga. Penyerbukan sendiri pada tanaman *S. canescens* mengakibatkan penurunan biomassa bibit dan ukuran bunga. KEPHART dan Hall (1999) yang melakukan penelitian selama tiga musim pada tanaman *Silene douglassii* var. *oraria* menemukan bahwa *ID* sangat besar pada fase awal dan akhir pertumbuhan tanaman. MEENA-ALI *et al.* (2008) melaporkan *ID* pada tanaman *Solanum carolinenses* di rumah kaca relatif lebih rendah dibandingkan di lapangan. PANDIN (2009) melaporkan kelapa dalam mapanget mengalami peningkatan nilai *ID* pada sejumlah karakter vegetatif pada generasi yang lebih lanjut. *ID* semakin meningkat pada karakter lingkaran batang 20 dan 150 cm dari permukaan tanah, jumlah daun, dan lebar daun kelapa. CARDOSO (2004) melaporkan adanya peningkatan nilai *ID* pada karakter berat buah, panjang buah, berat 100 biji, jumlah biji per buah, dan hasil biji per buah timun (*Cucurbita moschata* cv. Piramoita) pada generasi yang lebih lanjut.

Penelitian pada tanaman jarak pagar ini dilakukan pada generasi pertama (F1) selama periode satu tahun dan nilai *ID* dianalisis berdasarkan data karakter-karakter yang diperoleh dari tanaman yang berumur 1 tahun. Ada kemungkinan nilai *ID* dan *OD* juga berfluktuasi selama periode pertumbuhan tanaman dan dari generasi ke generasi

selanjutnya (VALTUENA *et al.* 2014). MUSTAJARVI *et al.* (2005) menyatakan bahwa untuk melakukan penelitian *ID* pada suatu jenis tanaman, sebaiknya pengamatan dilakukan selama beberapa fase pertumbuhan tanaman dan pada beberapa kondisi lingkungan yang berbeda, agar diketahui fluktuasi nilai *ID* selama pertumbuhan tanaman serta pengaruh faktor lingkungan yang mempengaruhinya. Pada umumnya, *ID* semakin meningkat pada generasi yang lebih lanjut. Hasil penelitian jarak pagar yang dilakukan menunjukkan data yang diperoleh sangat kompleks antar populasi. Adanya data yang sangat kompleks dengan fenomena yang sangat dinamis juga ditemukan pada penelitian tanaman *Scabiosa columbaria* (ANGELONI *et al.* 2013).

Penurunan Hasil Populasi F1 Hasil Penyerbukan Silang Antar Tetua Berdaya Hasil Berbeda (*Outbreeding Depression*)

Pada tetua-tetua yang tidak mengalami *ID*, terjadi hal yang sebaliknya, yaitu *OD*. Besarnya *OD* bervariasi bergantung dari daya hasil kedua tetua. Keragaan F1 hasil persilangan antar 10 tetua terpilih disajikan pada Tabel 9. Hasil persilangan tetua berdaya hasil tinggi dengan tetua berdaya hasil tinggi ($T \times T$) menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil sedang (S), persilangan tetua berdaya hasil tinggi dengan tetua berdaya hasil sedang ($T \times S$) menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil sedang dan rendah, dan persilangan tetua yang berdaya hasil tinggi dengan tetua yang berdaya hasil rendah ($T \times R$) menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil rendah (R).

Persilangan tetua berdaya hasil sedang dengan tetua berdaya hasil sedang ($S \times S$) menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil rendah dan sedang, persilangan tetua berdaya hasil sedang dengan tetua berdaya hasil rendah ($S \times R$) menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil rendah. Persilangan tetua berdaya hasil rendah dengan tetua berdaya hasil sedang maupun tinggi ($R \times S$ dan $R \times T$) selalu menghasilkan populasi F1 yang rataannya berdaya hasil rendah (Tabel 10).

Tabel 9. Rataan jumlah buah per tanaman pada setiap F1 hasil penyerbukan silang antar tetua ke-i dan ke-j
 Table 9. Average of fruits number per plant of F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parents

| Tetua ke-i i^{th} parents | Tetua ke-j (j^{th} parent) | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| | 1 R/L | 3 S/M | 4 S/M | 5 S/M | 6 S/M | 9 S/M | 10 S/M | 2 T/H | 7 T/H | 8 T/H |
| 1 (R/L) | 51 | 7 | 97 | 66 | 28 | 64 | 81 | 88 | 82 | 96 |
| 3 (S/M) | 77 | 243 | 197 | 270 | 144 | 212 | 182 | 273 | 312 | 202 |
| 4 (S/M) | 47 | 205 | 134 | 230 | 203 | 212 | 223 | 252 | 220 | 260 |
| 5 (S/M) | 44 | 158 | 147 | 183 | 116 | 184 | 183 | 195 | 219 | 176 |
| 6 (S/M) | 51 | 292 | 142 | 351 | 239 | 269 | 202 | 269 | 322 | 293 |
| 9 (S/M) | 120 | 243 | 133 | 228 | 222 | 213 | 170 | 220 | 242 | 216 |
| 10(S/M) | 81 | 262 | 270 | 321 | 285 | 213 | 180 | 269 | 159 | 246 |
| 2 (T/H) | 123 | 258 | 208 | 297 | 255 | 250 | 204 | 243 | 247 | 282 |
| 7 (T/H) | 167 | 322 | 317 | 319 | 268 | 239 | 199 | 302 | 308 | 338 |
| 8 (T/H) | 116 | 283 | 214 | 267 | 221 | 276 | 203 | 289 | 309 | 278 |

Keterangan : R = Rendah (daya hasil 200 buah/tanaman), S = Sedang (daya hasil 200-400 buah/tanaman), T = Tinggi (daya hasil > 400-600 buah/tanaman)
 Note : L = Low (yield 200 fruits/plant), M = Medium (yield 200-400 fruits/plant), H = High (yield > 400-600 fruits/plant)

Tabel 10. Kriteria daya hasil F1 hasil penyerbukan silang antara tetua ke i dengan ke j
 Table 10. Average of yield of F1 progenies of crossed between i^{th} and j^{th} parents

| Tetua i i^{th} parent | Tetua ke-j (j^{th} parent) | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| | 1 R/L | 3 S/M | 4 S/M | 5 S/M | 6 S/M | 9 S/M | 10 S/M | 2 T/H | 7 T/H | 8 T/H |
| 1 (R/L) | R | | R | | R | R | R | R | R | R |
| 3 (S/M) | R | S | R | S | R | S | R | S | S | S |
| 4 (S/M) | R | S | R | S | S | S | S | S | S | S |
| 5 (S/M) | R | R | R | R | R | R | R | R | S | R |
| 6 (S/M) | R | S | R | S | S | S | S | S | S | S |
| 9 (S/M) | R | S | R | S | S | S | R | S | S | S |
| 10(S/M) | R | S | S | S | S | S | R | S | R | S |
| 2 (T/H) | R | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| 7 (T/H) | R | S | S | S | S | S | R | S | S | S |
| 8 (T/H) | R | S | S | S | S | S | S | S | S | S |

Keterangan : R = Rendah (daya hasil 200 buah/tanaman), S = Sedang (daya hasil 200-400 buah/tanaman), T = Tinggi (daya hasil > 400-600 buah/tanaman)
 Note : L = Low (yield 200 fruits/plant), M = Medium (yield 200-400 fruits/plant), H = High (yield > 400-600 fruits/plant)

Penurunan daya hasil sebagai akibat persilangan dengan tetua yang berdaya hasil berbeda disajikan pada Tabel 11. Penurunan daya hasil karakter jumlah buah pada F1 hasil persilangan 2 tetua yang berbeda daya hasilnya bervariasi, bergantung kategori kedua tetuanya. Dengan membandingkan rata-rata daya hasil F1 hasil persilangan antar tetua berdaya hasil sama, dengan F1 hasil persilangan antar tetua berdaya hasil berbeda, diperoleh data penurunan daya hasil pada populasi F1 yang bervariasi.

Persilangan tetua betina berdaya hasil sedang dengan tetua jantan berdaya hasil rendah ($S \times R$) menghasilkan populasi F1 yang memiliki daya hasil 31-76% lebih rendah dibanding daya hasil F1 hasil persilangan tetua betina berdaya hasil sedang dengan tetua jantan berdaya hasil sedang ($S \times S$), persilangan tetua betina berdaya hasil tinggi dengan tetua jantan berdaya hasil rendah ($T \times R$) menghasilkan populasi F1 yang memiliki daya hasil 47-60% lebih rendah dibanding daya hasil populasi F1 hasil

persilangan tetua betina berdaya hasil tinggi dengan tetua jantan berdaya hasil tinggi ($T \times T$), sedangkan persilangan tetua betina berdaya hasil tinggi dengan tetua jantan berdaya hasil sedang ($T \times S$) menghasilkan populasi F1 yang memiliki daya hasil 9-20% lebih rendah dibanding daya hasil tetua populasi F1 hasil persilangan tetua betina berdaya hasil tinggi dengan tetua jantan berdaya hasil tinggi ($T \times T$). Sementara itu, persilangan tetua betina berdaya hasil sedang dengan tetua jantan berdaya hasil tinggi ($S \times T$) menghasilkan populasi F1 yang memiliki daya hasil 8-22% lebih tinggi dibanding daya hasil F1 hasil persilangan tetua betina berdaya hasil sedang dengan tetua jantan berdaya hasil sedang (Tabel 11).

Penurunan hasil pada populasi F1 dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Terjadinya penurunan daya hasil sebagai akibat persilangan antar tetua yang berdaya hasil berbeda dapat disebabkan adanya peran gen aditif pada karakter daya hasil. Hasil penelitian daya gabung pada 10

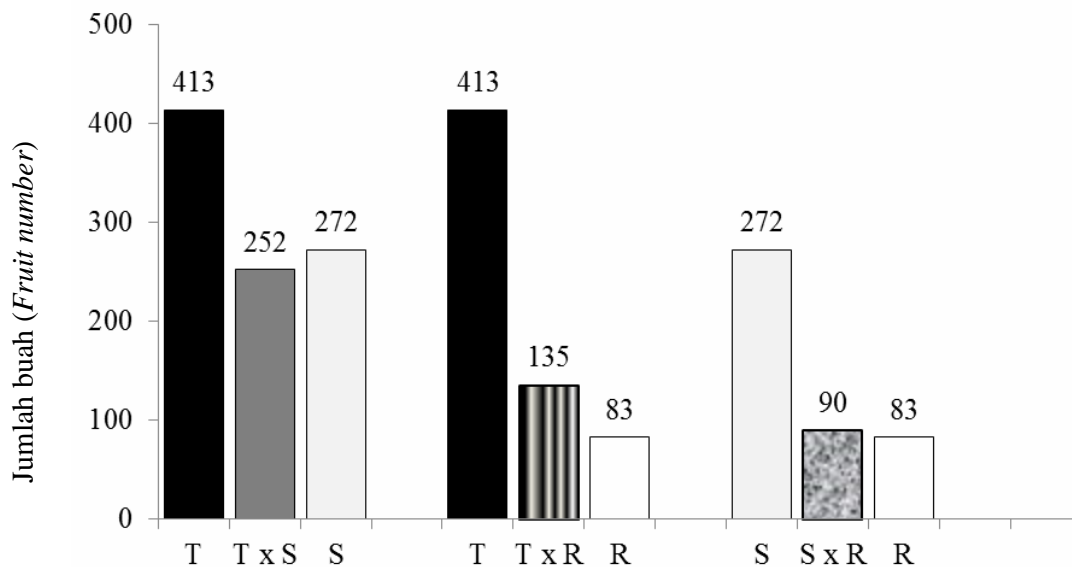
tetua jarak pagar yang berdaya hasil rendah, sedang, dan tinggi menunjukkan bahwa tetua berdaya hasil rendah (575-3) merupakan tetua yang memiliki daya gabung umum yang paling buruk untuk karakter jumlah buah per tanaman. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya aksi gen aditif yang lebih dominan dibanding aksi gen non aditif pada karakter jumlah buah per tanaman yang ditunjukkan oleh nilai $\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK}$ lebih dari 1 (HARTATI, 2011). Aksi gen aditif akan mengakibatkan nilai karakter pada progeni hasil persilangan antar dua tetua yang berbeda daya hasilnya merupakan perpaduan dari sejumlah gen secara bersama-sama. Nilai karakter yang dihasilkan akan berada di antara nilai kedua tetuanya. Nilai karakter akan bergeser dari tetua berdaya hasil tinggi kearah tetua berdaya hasil rendah sehingga menghasilkan keturunan yang memiliki nilai karakter lebih rendah dari tetua terbaiknya.

Adanya OD juga ditemukan pada sejumlah tanaman. Hasil penelitian QUILICHINI *et al.* (2001) pada tanaman *Anchusa crista* Viv menunjukkan adanya OD pada generasi F1 dan F2 yaitu pada karakter jumlah infloresen bunga dimana jumlah infloresen pada generasi F1 dan F2 hasil persilangan lebih sedikit dibanding F1 dan F2 hasil penyerbukan sendiri. Sementara itu, hasil penelitian WASER *et al.* (2000) pada tanaman *Ipomopsis aggregate* menunjukkan adanya OD selama periode pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian pada tanaman jarak pagar ini menunjukkan semua persilangan dengan tetua berdaya hasil rendah baik sebagai tetua betina maupun sebagai tetua jantan selalu menghasilkan F1 yang berdaya hasil lebih

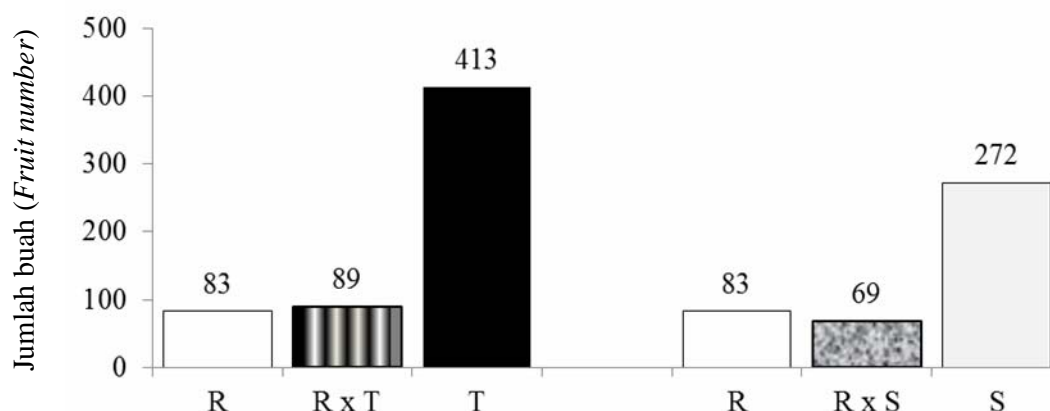
rendah dari tetua terbaiknya (Gambar 1 dan Gambar 2). Penurunan nilai karakter, khususnya komponen hasil tanaman jarak pagar sebagai akibat persilangan terutama dengan tetua jantan berdaya hasil rendah, tidak diharapkan terutama bila akan mengembangkan tanaman jarak pagar. Populasi yang semula terdiri dari individu berdaya hasil tinggi akan menghasilkan keturunan yang berdaya hasil lebih rendah bila diantara populasi terdapat individu berdaya hasil rendah atau sedang. Heritabilitas dalam arti luas yang tinggi pada karakter jumlah buah (HARTATI *et al.*, 2012) memperbesar peluang diwariskannya karakter berbuah sedikit (daya hasil rendah) pada F1 yang dihasilkan dari persilangan dengan tetua berdaya hasil rendah. Disamping itu, karakter jumlah buah yang dikendalikan oleh gen aditif dan non aditif juga berperan dalam menentukan nilai karakter pada populasi F1 yang dihasilkan. Kondisi ini yang diduga terjadi pada populasi-populasi jarak pagar, diantaranya *improved population*.

Dalam program penyediaan bahan tanaman (benih) untuk jarak pagar, fenomena tersebut diatas harus diantisipasi. Seleksi terhadap individu-individu yang memiliki daya hasil kurang dari kriteria harus terus dilakukan agar tidak terdapat individu yang berdaya hasil rendah ataupun sedang pada areal pembenihan. Hal ini untuk menghindarkan terjadinya persilangan antara tetua berdaya hasil tinggi dengan tetua berdaya hasil sedang maupun rendah yang akan menghasilkan benih F1 yang berdaya hasil rendah atau sedang.



Gambar 1. Rataan jumlah buah pada F1 hasil penyerbukan silang antar tetua berdaya hasil tinggi \times sedang (■), tinggi \times rendah (▨) dan sedang \times rendah (▩)

Figure 1. Fruit averages of F1 progenies of crossed between high \times medium (■), high \times low (▨), and medium \times low (▩) yield parents



Gambar 2. Rataan jumlah buah pada F1 hasil penyerbukan silang antar tetua berdaya hasil rendah \times tinggi (▨) dan rendah \times sedang (▩).

Figure 2. Fruit averages of F1 progenies of crossed between low \times high (▨) and low \times medium (▩) yield parents

Tabel 11. Persentase penurunan hasil buah pada populasi F1 akibat penyerbukan silang tetua R \times S, R \times T, S \times R, S \times T, T \times R, dan T \times S

Table 11. Yield decreasing percentage of F1 population of crossed among L \times M, L \times H, M \times L, M \times T, H \times L, and H \times M

| Tetua Parent | Rataan jumlah buah F1 hasil penyerbukan silang antar tetua <i>Fruits number averages of F1 progenies of crossed among parents</i> | | | | | | | | Penurunan Daya Hasil pada F1 hasil penyerbukan silang antar tetua yang berbeda daya hasil (%)* <i>Yield decreasing of F1 population of difference yield level parents*</i> | | | |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
| | S × S | T × T | R × S | R × T | S × R | S × T | T × R | T × S | SS-SR | SS-ST | TT-TR | TT-TS |
| 1 (R) | | | 69 | 89 | | | | | - | - | | |
| 3 (S) | 208 | | | | 77 | 228 | | | 63 | -10 | | |
| 4 (S) | 201 | | | | 47 | 217 | | | 76 | -8 | | |
| 5 (S) | 162 | | | | 44 | 197 | | | 73 | -22 | | |
| 6 (S) | 249 | | | | 172 | 295 | | | 31 | -18 | | |
| 9 (S) | 202 | | | | 120 | 194 | | | 40 | 4 | | |
| 10 (S) | 255 | | | | 81 | 225 | | | 68 | 12 | | |
| 2 (T) | | 270 | | | | | 123 | 245 | | | 54 | 9 |
| 7 (T) | | 316 | | | | | 167 | 277 | | | 47 | 12 |
| 8 (T) | | 292 | | | | | 116 | 234 | | | 60 | 20 |

Keterangan: T = berdaya hasil tinggi, S = berdaya hasil sedang, R = berdaya hasil rendah); ^{*} dihitung menggunakan rumus Penurunan Daya Hasil

Note: H = high yield, M = medium yield, L = low yield); ^{*} was calculated using the Yield Decreasing formula;

KESIMPULAN

Penyerbukan sendiri pada tanaman jarak pagar tidak selalu mengakibatkan terjadinya *ID*, tetapi pada genotipe tertentu penyerbukan silang dapat mengakibatkan *OD*. *ID* ditemukan pada sebagian karakter progeni hasil penyerbukan sendiri tetua 1 (575-3), 2 (HS 49-2), 4 (PT 13-1), 5 (SP 16-2), 6 (PT 33-2), 7 (3012-1), 8 (PT 15-1), 9 (PT 14-1), dan 10 (Sulsel 8), sedangkan *OD* ditemukan pada progeni hasil persilangan tetua 3 (IP 1A-2) dengan tetua lainnya. Penyerbukan sendiri pada tetua 2 (HS 49-2), 6 (PT 33-2), 8 (PT 15-1), dan 9 (PT 14-1) mengakibatkan *ID* pada karakter umur berbunga dan *OD* pada karakter jumlah buah per tanaman sehingga penyerbukan sendiri akan

menghasilkan progeni yang lebih cepat berbunga dan menghasilkan buah yang lebih banyak dibanding persilangannya dengan genotipe lain.

OD mengakibatkan terjadinya penurunan hasil pada F1. Persilangan antar tetua yang memiliki daya hasil berbeda akan menghasilkan progeni F1 yang memiliki daya hasil yang lebih rendah dari tetua terbaiknya. Persilangan dengan tetua jantan berdaya hasil rendah akan menghasilkan progeni F1 yang berdaya hasil rendah dan lebih rendah dari tetua betinanya. Penurunan daya hasil pada progeni F1 akibat persilangan dengan tetua jantan berdaya hasil rendah berkisar 31-76%.

DAFTAR PUSTAKA

- ANDERSON, S. and P. WALDMANN. 2002. Inbreeding depression in a rare plant, *Scabiosa canescens* (Dipsacaceae). *Hereditas*. 136: 207-211.
- ANGELONI, F., P. VERGEER, C.A.M. WAGEMAKER, and N.J. OUBORG. 2013. Within and between population variation in inbreeding depression in the locally threatened perennial *Scabiosa columbaria*. *Conserv. Genetic*. DOI 1007/s10592-013-0541-4. www.ru.nl/publish/pages/601704/angeloni_et_al_2013.pdf
- CARDOSO, A.I.I. 2004. Depression by inbreeding after four successive self-pollination of squash generations. *Sci. Agric*. 61(2): 224-227.
- CHANG, S.M. 2007. Gender-specific inbreeding depression in a gynodioecious plant, *Geranium maculatum* (Geraniaceae). *Am. J. of Bot.* 94(7): 1193-1204.
- CHARLESWORTH, D. and B. CHARLESWORTH. 1987. Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annu. Rev Ecol Syst* 18: 237-268.
- CHARLESWORTH, D. and J.H. WILLIS. 2009. The genetics of inbreeding depression. *Genetics*. 10: 783-796.
- DEHGAN, B. and G.L. WEBSTER. 1979. Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). *Botany* 74. Univ. of California Pub. 81 p.
- GOODWILLIE, C. and M.C. KNIGHT. 2006. Inbreeding depression and mixed mating in *Leptosiphon jepsonii*: a comparison of three populations. *Annals. of Bot.* 98: 351-360.
- GRINDELAND, J.M. 2008. Inbreeding depression and OD in *Digitalis purpurea*: optimal outcrossing distance in a tetraploid. *J. Evo. Biol.* 21: 716-726.
- HARTATI, R.S. 2007. Jarak pagar, menyerbuk silang atau menyerbuk sendiri?. *Infotek Jarak Pagar*. 2(10): 37.
- HARTATI, R.S. 2011. Evaluasi genetik daya hasil dan sifat penting lainnya pada jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) untuk mendukung perakitan varietas baru berdaya hasil tinggi. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. 190 hlm.
- HARTATI, R.S., A. SETIAWAN, B. HELIYANTO, D. PRANOWO, dan SUDARSONO. 2009. Keragaan morfologi dan hasil 60 individu jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) terpilih di kebun Pakuwon Sukabumi. *Jurnal Littri*. 15(4): 152-161.
- HARTATI, R.S., A. SETIAWAN, B. HELIYANTO, dan SUDARSONO. 2012. Keragaman genetik, heritabilitas, dan korelasi antar karakter 10 genotipe terpilih jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). *Jurnal Littri*. 18(2): 74-80.
- KEPHART, S.R. and E.J. HALL. 1999. Inbreeding depression and partial selfing: Evolutionary implication of mixed mating in a coastal endemic, *Silene douglasii* var. *oraria* (Caryophyllaceae). *Heredity*. 82: 543-554.
- LENE, R., H.R. NIELSEN, SIEGISMUND, and T. HANSEN. 2007. Inbreeding depression in the partially self-incompatible endemic plant species *Scalesia affinis* (Asteraceae) from Galapagos islands. *Evol. Ecol.* 21: 1-12.
- MAHMUD, Z., D. ALLORERUNG, dan A.A. RIVAIE. 2008. Teknik Budidaya Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. 18 hlm.
- MEENA-ALI, J.I., L.H. KESER, and A.G. STEPHENSON. 2008. Inbreeding depression in *Solanum carolinense* (Solanaceae), a species with a plastic self-incompatibility response. *BMC Evol. Biol.* 8: 10. DOI: 10.1186/1471-2148-8-10.
- MOONEY, E.H. and J.B. MCGRAW. 2007. Effects of self-pollination and outcrossing with cultivated plants in small natural populations of american ginseng, *Panax quinquefolius* (Araliaceae). *Am. J. of Bot.* 94(10): 1677-1687.
- MUSTAJARVI, K., P. SIIKAMAKI, and A.A. KERBERG. 2005. Inbreeding depression in perennial *Lychnis viscaria* (Caryophyllaceae): effect of poplation mating history and nutrient availability. *Am. J. of Bot.* 92(11): 1853-1861.
- PANDIN, D.S. 2009. Inbreeding depression analysis based on morphological characters in four generations of selfed mapanget tall coconut no. 32 (*Cocos nucifera* L.). *Indonesian J. of Agric.* 2(2): 110-114.
- QUILICHINI, A., M. DEBUSSHE, and J.D. THOMPSON. 2001. Evidence for local outbreeding depression in the Mediterranean island endemic *Anchusa crispa* Viv. (Boraginaceae). *Heredity* 87: 190-197.
- RAJU, A.J.S. and V. EZRADANAM. 2002. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). *Current Sci.* 83(11): 1395-1398.
- SHERIDAN, P.M. and D.N. KAROWE. 2000. Inbreeding, outbreeding, and heterosis in the yellow pitcher plant, *Sarracenia flava* (Sarraceniaceae), in Virginia. *Am. J. of Bot.* 87(11): 1628-1633.
- SINGH, B.D. 1990. *Plant Breeding Principles and Methods*. 4th Ed. Kalyani Pub. New Delhi. 620 p.
- VALTUENA, F.J., J. LOPEZ, A.O. OLIVENCIA, T.R. RIANO, and M. GONZALEZ. 2014. Contrasting inbreeding depression in early and late stages of the life cycle of a Mediterranean shrub, *Anagyris foetida* (Leguminosae). *Turk. J. Bot.* 38: 334-346.
- WASER, N.M., M.V. PRICE, and R.G. SHAW. 2000. Outbreeding depression varies among cohort of *Ipomopsis aggregate* planted in nature. *Evol.* 54(2): 485-491.
- XIU, R.W. and DING, G.J. 2012. Reproductive biology characteristic of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). *Rev. Biol. Trop.* 60(4): 1525-1533.